

fisika listrik

by F. Shoufika Hilyana

Submission date: 27-Jan-2020 09:33AM (UTC+0700)

Submission ID: 1246792045

File name: TEKNIK_LISTRIK.pdf (2.77M)

Word count: 6907

Character count: 41039

FISIKA TEKNIK

“LISTRIK”

F. Shoufika Hilyana, M.Pd.



BADAN PENERBIT
UNIVERSITAS MURIA KUDUS

Fisika Teknik “Listrik”

Penulis :

F. Shoufika Hilyana, M.Pd.

Editor :

F. Shoufika Hilyana, M.Pd.

ISBN : ISBN: 978-623-7312-28-4

Cetakan Pertama, Desember 2019

Copyright@2019

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

Dilarang memperbanyak bahan ajar ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa seijin tetulis dari penerbit

Penerbit :

Badan Penerbit Universitas Muria Kudus

Anggota APPTI No. 003.030.1.03.2018

Kontak Penerbit:

Gondangmanis, Bae, Kudus, Kode Pos 53,
Jawa Tengah, Indonesia, 59352

Telp.: 0291-438229

Fax : 0291-437198

Email : penerbit@umk.ac.id

KATA PENGANTAR

Buku ini dimaksudkan guna melengkapi bahan ajar mata kuliah Fisika Teknik II pada Fakultas Teknik Strata 1. Penulis berharap buku ini bermanfaat bagi orang lain yang berminat untuk mempelajari ilmu Fisika. Buku ini membahas tentang materi Listrik.

Buku ini terdiri dari 6 bab, untuk lebih memahami pokok bahasan yang sedang dikembangkan, pada setiap bab diberikan tujuan bab. Setiap bahasan disertai contoh-contoh perhitungan untuk lebih menggambarkan materi yang sedang dikembangkan. Beberapa latihan diberikan agar mahasiswa/pembaca memperoleh pengalaman memecahkan masalah dengan menggunakan metode yang sesuai.

Pembahasan pada buku ini dimulai dengan pembahasan tentang Muatan-hukum Coulomb (Gaya Listrik); Medan Listrik; Potensial Listrik; Arus Listrik; Rangkaian DC; dan Rangkaian AC.

Penulis menyadari buku ini masih jauh dari sempurna. Saran dan kritik dari pembaca sangatlah diharapkan untuk penyempurnaan buku ini.

Tak lupa penulis ucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan masukan dalam penulisan buku ini.

Harapan penulis semoga buku ini bermanfaat.

Kudus, Desember 2019

Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar.....	iii
Daftar Isi.....	v
Bab I Muatan-Hukum Coulomb (Gaya Listrik)	1
A. Pendahuluan	1
B. Penyajian	2
C. Penutup	7
D. Daftar Pustaka	7
Bab 2 Medan Listrik	9
A. Pendahuluan	9
B. Penyajian	10
C. Penutup	14
D. Daftar Pustaka	14
Bab 3 Potensial Listrik	15
A. Pendahuluan	15
B. Penyajian	16
C. Penutup	21
D. Daftar Pustaka	21
Bab 4 Arus Listrik	23
A. Pendahuluan	23
B. Penyajian	23
C. Penutup	28
D. Daftar Pustaka	28
Bab 5 Rangkaian Listrik Searah	29
A. Pendahuluan	29
B. Penyajian	29
C. Penutup	35
D. Daftar Pustaka	35

Bab 6 Rangkaian Listrik Bolak Balik 37
A. Pendahuluan 37
B. Penyajian 37
C. Penutup 49
D. Daftar Pustaka 50

Muatan-Hukum Coulomb (Gaya Listrik)



A. PENDAHULUAN

Bab ini memaparkan tentang besaran fisika yang berhubungan dengan muatan listrik yang diam (statis). Gaya pada muatan listrik diperkenalkan oleh Charles Coulomb yang ahli dalam bidang Elektrostatik, sehingga dikenal dengan Hukum Coulomb. Gaya Coulomb ini mempunyai kemiripan dengan gaya gravitasi Newton, berbeda dalam interaksi antar muatan listrik mempunyai orde yang lebih besar dari pada interaksi antar massa benda.

1. Kemampuan Akhir yang diharapkan

- Mahasiswa mengetahui tentang Hukum Coulomb (Gaya interaksi antar muatan listrik)
- Mahasiswa memahami penjelasan tentang Hukum Coulomb
- Mahasiswa menghitung besaran untuk menentukan nilai gaya listrik (Hukum Coulomb)

2. Capaian pembelajaran

- Mahasiswa mampu menjelaskan tentang Hukum Coulomb
- Mahasiswa mampu menghitung nilai besaran gaya Coulomb
- Mahasiswa mampu menganalisa interaksi antara dua muatan atau lebih
- Mahasiswa mampu mengetahui aplikasi Hukum Coulomb dalam kehidupan

B. PENYAJIAN

❖ URAIAN

Muatan listrik adalah karakter intrinsik dari dasar-dasar partikel yang menyusun benda; properti yang otomatis hadir bersama partikel-partikel dimanapun berada.

Kenapa Elektrostatik?

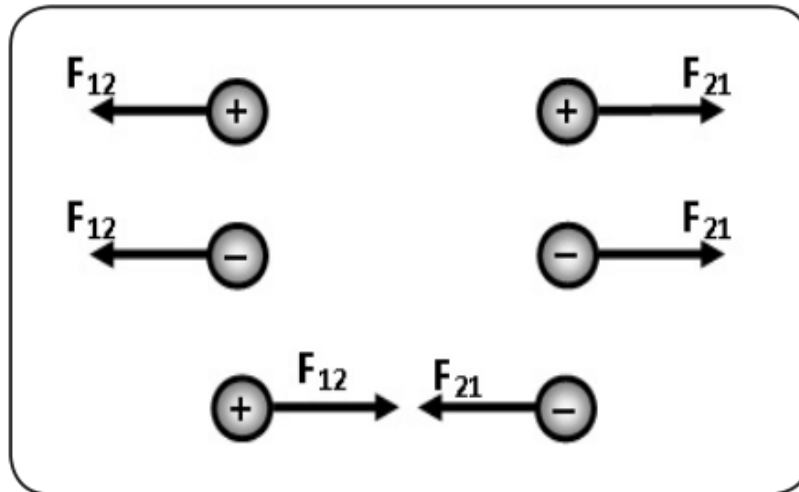
→ Menekankan bahwa relatif muatan yang satu dengan yang lain yang terkait bersifat stasioner (sangat lambat pergerakannya).

*Bagaimana mesin fotokopi bisa bekerja, bagaimana caranya memindahkan huruf dari kertas asli ke kertas fotokopi yang baru? **Searching ya***

Benda-benda yang bermuatan ketika saling berinteraksi akan saling mengerahkan gaya satu sama lain. Muatan-muatan yang sejenis akan saling menolak (Gaya tolak menolak = *Repulsion*), muatan-muatan yang jenisnya berbeda akan saling menarik (Gaya tarik menarik = *Attraction*).

Charles Augustin De Coulomb (1785) melakukan penelitian tentang gaya listrik pada partikel bermuatan, hasilnya menunjukkan bahwa gaya listrik:

- Sebanding dengan hasil kali muatan q_1 dan q_2 kedua muatan
- Berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara keduanya
- Bekerja pada garis hubung antara kedua muatan
- Tarik menarik bila kedua muatan tidak sejenis dan tolak menolak bila kedua muatan sejenis.



Gambar 1.1. Arah gaya listrik antara dua partikel yang bermuatan.

Hukum Coulomb; Gaya listrik (*Electrostatic Force*) antar muatan diungkapkan dalam hukum Coulomb. Jika dua partikel dengan muatan q_1 dan q_2 terpisahkan jarak r , maka akan terjadi gaya di antara dua muatan tersebut sebesar:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (\text{Hukum Coulomb}) \quad (1.1)$$

Muatan (+) dan (-) diciptakan oleh Benjamin Franklin.

Satuan SI dari muatan adalah **Coulomb**. Dimana k adalah konstanta dielektrik, biasanya ditulis $1/4\pi\epsilon_0$. Maka hukum Coulomb menjadi

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (\text{Hukum Coulomb}) \quad (1.2)$$

Nilai $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$; dan nilai ϵ_0 (konstanta permitivitas) $= 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$.

Besar muatan terkecil yang pernah diukur dinyatakan sebagai e (muatan elementer), dimana $e = 1,60218 \times 10^{-19} \text{ C}$. Elektron memiliki muatan $-e$, sementara muatan proton adalah $+e$.

Jika kita memiliki n partikel bermuatan, maka gaya yang terjadi antara partikel-partikel itu adalah jumlah dari seluruh partikel bermuatan.

$$\vec{F}_{1,net} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{14} + \vec{F}_{15} + \dots + \vec{F}_{1n} \quad (1.3)$$

Bentuk persamaan 1.1 sama dengan persamaan Newton untuk gaya gravitasi antara dua partikel dengan massa m_1 dan m_2 yang terpisah oleh jarak r ;

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (\text{Hukum Newton}) \quad (14)$$

Apa perbedaan gaya elektrostatis dan gaya gravitasi menurut persamaan 1.1 dan 1.4 ?

❖ CONTOH

1. Elektron dan proton atom hidrogen dipisahkan (rata-rata) oleh jarak sekitar $5,3 \times 10^{-11} \text{ m}$. Carilah besar gaya listrik serta gaya gravitasi di antara kedua partikel tersebut.

Penyelesaian

"Gunakan rumus gaya Coulomb (1.1)"

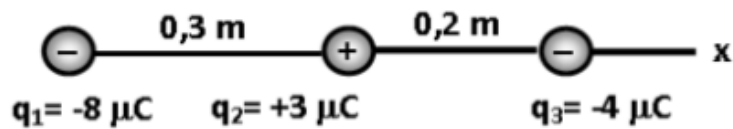
$$F = \frac{ke(-e)}{r^2} = \left(\frac{9 \times 10^9 \text{ Nm}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{(1,6 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(5,3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} = 8,2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

"Gunakan rumus gaya gravitasi (1.4)"

$$F = \frac{Gm_e m_p}{r^2} = \left(\frac{6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2}{\text{kg}^2} \right) \frac{(1,67 \times 10^{-27} \text{ kg})^2}{(5,3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} = 3,6 \times 10^{-47} \text{ N}$$

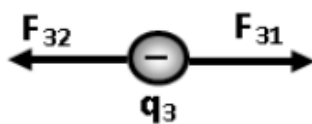
\therefore Rasio antara gaya Coulomb dan gaya gravitasi $\approx 2 \times 10^{39}$.
Oleh karena itu gaya gravitasi di antara partikel-partikel yang bermuatan bisa diabaikan.

2. Tiga muatan pada satu garis seperti gambar di bawah, berapa nilai gaya listrik total pada partikel ke-3 dengan muatan $-4,0 \mu\text{C}$ di sebelah kanan yang disebabkan oleh dua muatan yang lain.



Penyelesaian

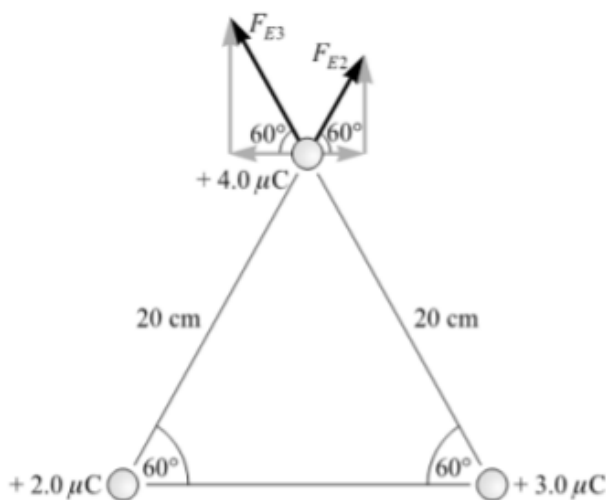
- Gaya pada partikel 3 merupakan jumlah vektor gaya listrik antara partikel 3 dengan 2 (F_{32}), dan gaya listrik antara partikel 3 dengan 1 (F_{31}).



$$\begin{aligned}\vec{F} &= \vec{F}_{31} + (-\vec{F}_{32}) = k \frac{q_3 q_1}{r_{31}^2} + (-k \frac{q_3 q_2}{r_{32}^2}) \\ &= \frac{9 \times 10^9 (4 \times 10^{-6})(8 \times 10^{-6})}{(0,5)^2} + (-\frac{9 \times 10^9 (4 \times 10^{-6})(3 \times 10^{-6})}{(0,2)^2}) \\ &= 1,2 \text{ N} + (-2,7) \text{ N} = -1,5 \text{ N}\end{aligned}$$

∴ Gaya total pada partikel ke-3 adalah 1,5N dengan arah ke Kiri.

3. Perhatikan muatan-muatan pada gambar berikut, tentukan gaya pada muatan $4\mu\text{C}$ oleh kedua muatan yang lain.



$$F_{E2} = k \frac{qq'}{r^2} = (9 \times 10^9) \frac{(2 \times 10^{-6})(2 \times 10^{-6})}{0,2^2} = 1,8 \text{ N}$$

$$F_{E3} = k \frac{qq'}{r^2} = (9 \times 10^9) \frac{(3 \times 10^{-6})(2 \times 10^{-6})}{0,2^2} = 2,7 \text{ N}$$

$$F_{Ex} = F_{E2} \cos 60^\circ - F_{E3} \cos 60^\circ = (1,8 - 2,7)(0,5) = -0,45 \text{ N}$$

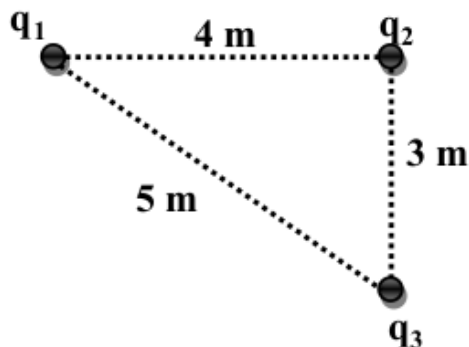
$$F_{Ey} = F_{E2} \sin 60^\circ + F_{E3} \sin 60^\circ = (1,8 + 2,7)(0,866) = 3,9 \text{ N}$$

$$F_E = \sqrt{F_{Ex}^2 + F_{Ey}^2} = \sqrt{(0,45)^2 + (3,9)^2} = 3,9 \text{ N}$$

$$\tan^{-1} \left(\frac{0,45}{3,9} \right) = 7^\circ, \theta = 97^\circ$$

∴ Gaya total pada partikel bermuatan $4\mu\text{C}$ adalah $3,9\text{N}$ dengan sudut 97° dari sumbu y.

❖ LATIHAN



Tiga buah muatan seperti pada gambar di atas yang masing-masing mempunyai muatan $q_1 = -1 \text{ mC}$, $q_2 = +1 \text{ mC}$, dan $q_3 = -1 \text{ mC}$. Tentukan:

- Gaya yang dialami q_1
- Gaya yang dialami q_2

❖ RANGKUMAN

- Hukum Coulomb; Gaya listrik (*Electrostatic Force*) antar muatan dengan muatan q_1 dan q_2 yang terpisahkan dengan jarak r

2. Jika kita memiliki n partikel bermuatan, maka gaya yang terjadi antara partikel-partikel itu adalah jumlah dari seluruh partikel bermuatan
3. Hukum Coulomb menyatakan bahwa:
 - a. Sebanding dengan hasil kali muatan q_1 dan q_2 kedua muatan
 - b. Berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara keduanya
 - c. Bekerja pada garis hubung antara kedua muatan
 - d. Tarik menarik bila kedua muatan tidak sejenis dan tolak menolak bila kedua muatan sejenis.

C. PENUTUP

❖ TINDAK LANJUT

Setelah mengikuti materi pada bab ini, diharapkan mahasiswa mampu mencapai tujuan pembelajaran dan dapat melanjutkan materi pada bab selanjutnya.

D. DAFTAR PUSTAKA

- Serway, R.A, and Jewett, J.W. 2010. Fisika untuk Sains dan Teknik. Edisi 6. Salemba Teknika, Jakarta.
- Guntoro, N.A. 2013. Fisika Terapan. PT Remaja Rosdakarya. Cetakan pertama. Bandung.
- Jati, B.M.E, dan Priyambodo, T.K. 2010. Fisika Dasar Listrik-Magnet-Optika-Fisika Modern. ANDI. Yogyakarta.
- Bueche, F.J, and Hecht E. 1997. Schaum's outline of Theory and Problems of College Physics. Ninth edition. McGraw-Hill. United States of America.
- Giancoli, D.C. 2002. Fisika Prinsip dan Aplikasi Jilid 2. Edisi 7. Erlangga. Jakarta.

A. PENDAHULUAN

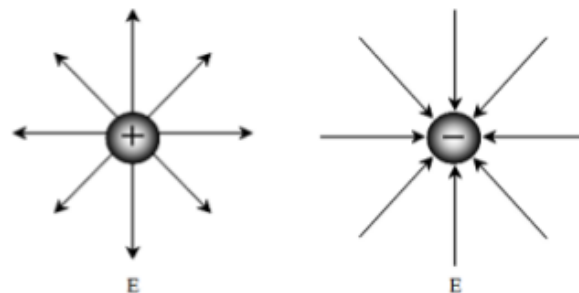
Bab ini memaparkan tentang besaran fisika yang berhubungan dengan medan listrik. medan listrik merupakan gaya yang dialami oleh partikel uji bermuatan jika didekatkan pada suatu titik dalam medan listrik tersebut. Medan listrik yang menembus luas permukaan dengan arah tegak lurus dikenal dengan Hukum Gauss.

1. Kemampuan Akhir yang diharapkan
 - Mahasiswa mengetahui tentang medan listrik
 - Mahasiswa memahami penjelasan tentang Hukum Gauss
 - Mahasiswa menghitung besaran untuk menentukan nilai medan listrik
2. Capaian pembelajaran
 - Mahasiswa mampu menjelaskan tentang medan listrik
 - Mahasiswa mampu menghitung nilai besaran fluks medan listrik
 - Mahasiswa mampu menganalisa interaksi antara partikel uji yang bermuatan dengan medan listrik
 - Mahasiswa mampu mengetahui contoh medan listrik dalam kehidupan

B. PENYAJIAN

❖ URAIAN

Medan listrik dinyatakan ada pada suatu tempat dalam ruang ketika sebuah muatan uji yang ditempatkan pada titik tersebut mengalami gaya listrik. Arah medan listrik pada suatu titik sama dengan arah gaya yang dialami oleh muatan uji positif. Garis-garis medan akan keluar dari muatan-muatan positif (karena muatan positif menolak muatan positif) dan menuju muatan-muatan negatif (karena muatan negatif menarik muatan positif).



Gambar 2.1. Arah medan listrik; keluar jika positif, masuk jika negatif.

Jika suatu muatan q ditempatkan pada suatu titik di mana medan listrik akibat muatan-muatan lain adalah \vec{E} , muatan tersebut akan mengalami gaya \vec{F}_E yang ditentukan oleh:

$$\vec{F}_E = q\vec{E} \quad (2.1)$$

Jika q negatif, \vec{F}_E akan berlawanan arah dengan \vec{E} . Satuan SI untuk medan listrik adalah Newton per Coulomb (N/C).

Jika salah satu muatan uji adalah q_0 , gaya elektrostatis dari persamaan 1.2 dapat dituliskan:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q q_0}{r^2} \quad (2.2)$$

Distribusi dengan persamaan 1.5, didapatkan medan listrik dari muatan titik q :

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} = k \frac{q}{r^2} \quad (\text{muatan titik}) \quad (2.3)$$

Fluks Medan Listrik (ΦE) Merupakan gambaran dari garis gaya listrik yang menembus luasan secara normal. Jika E menembus elemen luasan dA dan sudut antara E dan dA adalah ϑ , maka fluks medan listrik:

$$\phi_E = \int d\phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A} \text{ atau } \phi_E = \int E dA \cos\theta \quad (2.4)$$

Nilai fluks akan maksimum jika E sejajar dA , akan minimum jika E berlawanan arah dengan dA .

- a. Fluks medan listrik pada jarak r dari sebuah titik muatan yang bermuatan $+q$, dihitung:

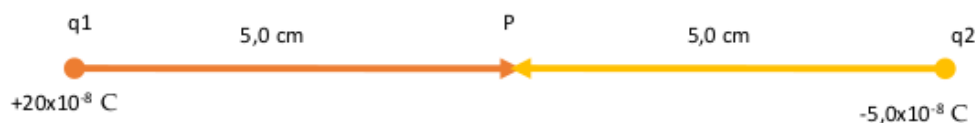
$$\phi_E = \vec{E} \cdot \vec{A} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} 4\pi r^2 \text{ Sehingga } \phi_E = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (2.5)$$

- b. Fluks medan listrik di pelat yang berada di bawah ruang bermedan listrik:

- a) $\theta=0$; $\Phi E = E A$
 b) $\theta \neq 0$; $\Phi E = E A \cos \theta$
 c) $\theta=90^\circ$; $\Phi E = 0$

❖ CONTOH

1. Tentukan (a) Medan listrik E di titik P , (b) gaya pada suatu muatan $-4,0 \times 10^{-8} \text{ C}$ yang ditempatkan di titik P . dan (c) dimana nilai medan listrik bernilai nol.



Penyelesaian

- (a) Muatan uji positif di titik P akan ditolak ke arah kanan oleh muatan q_1 dan ditarik ke kanan oleh muatan q_2 . Karena arah medan sama, maka $E = E_1 + E_2$.

$$E = E_1 + E_2 = k \frac{|q_1|}{r_1^2} + k \frac{|q_2|}{r_2^2} = \frac{k}{r_{12}^2} (|q_1| + |q_2|) = \frac{9 \times 10^9}{(0,05)^2} (25 \times 10^{-8})$$

$$= 9 \times 10^5 \text{ N/C}$$

Dengan arah ke kanan

(b) Muatan q di titik P mengalami gaya:

$$F = Eq = (9 \times 10^5)(-4 \times 10^{-8}) = -0,036 \text{ N}$$

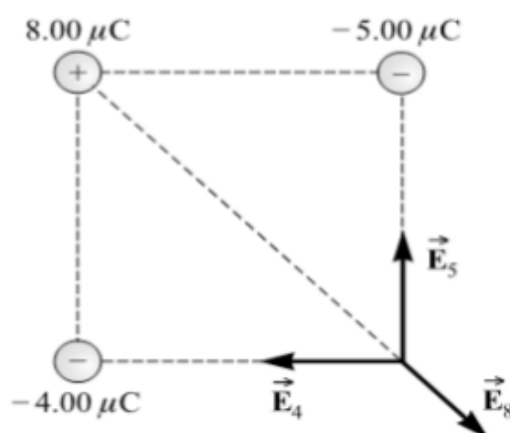
Tanda minus berarti arah gaya adalah ke kiri.

(c) Medan bernilai nol, jika berada di sebelah kanan muatan q_2 . Kalau jarak dari muatan $-5 \times 10^{-8} \text{ C}$ ke titik tersebut adalah d , maka $E_1 - E_2 = 0$ karena medan yang ditimbulkan muatan positif berarah ke kanan, sedangkan medan pada muatan negatif berarah ke kiri.

$$k \left(\frac{|q_1|}{r_1^2} + \frac{|q_2|}{r_2^2} \right) = (9 \times 10^9) \left(\frac{20 \times 10^{-8}}{(d + 0,1)^2} - \frac{5 \times 10^{-8}}{d^2} \right) = 0$$

Dengan menggunakan pertidaksamaan didapatkan $d_1 = 0,10 \text{ m}$ dan $d_2 = -0,03 \text{ m}$. Nilai jarak yang terpakai hanya yang bernilai positif yaitu $0,10 \text{ m}$, yang berarti bahwa titik terletak 10 cm di sebelah kanan muatan yang negatif.

1. Tiga buah muatan pada ketiga buah sudut suatu persegi, dengan sisi 30 cm . Hitung E di setiap sudut, dan berapa gaya pada muatan $6 \mu\text{C}$ yang ditempatkan di sudut yang kosong. (Lihat gambar di bawah)



Penyelesaian

Dengan menggunakan persamaan (2.3), masing-masing ditemukan:

$$E_4 = 4 \times 10^5 \text{ N/C}; \quad E_8 = 4 \times 10^5 \text{ N/C}; \quad E_5 = 5 \times 10^5 \text{ N/C}$$

Sudut pada persegi adalah 90° , vektor E_8 membentuk sudut 45° , sehingga:

$$E_x = E_8 \cos 45^\circ - E_4 = -1.17 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$E_y = E_5 - E_8 \cos 45^\circ = 2.17 \times 10^5 \text{ N/C}$$

Dengan menggunakan rumus $E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$, dan $\tan \theta = E_y/E_x$.

Diperoleh $E = 2,47 \times 10^5 \text{ N/C}$ dengan sudut 118° .

❖ LATIHAN

1. Dua buah muatan masing-masing $+10 \mu\text{C}$ dan $-20 \mu\text{C}$, berjarak 2,4 m. Hitunglah kuat medan listrik di pertengahan antara kedua muatan tersebut.
2. Sebuah muatan $-2,4 \text{ C}$ mengalami gaya sebesar 5N, berarah ke atas. Berapa besar dan arah medan listrik di muatan itu.
3. Muatan $q_1 = 7 \mu\text{C}$ diletakkan pada pusat koordinat, dan muatan $q_2 = -5 \mu\text{C}$ terletak di sumbu x positif berjarak 0,3 m dari pusat koordinat. Tentukan (a) Besar dan arah kuat medan listrik di titik P. (b) Gaya yang dialami muatan $2 \times 10^{-3} \text{ C}$ jika diletakkan di titik P.

❖ RANGKUMAN

1. Medan listrik dinyatakan ada pada suatu tempat dalam ruang ketika sebuah muatan uji yang ditempatkan pada titik tersebut mengalami gaya listrik.

2. Arah medan listrik; garis-garis medan akan keluar dari muatan-muatan positif (karena muatan positif menolak muatan positif) dan menuju muatan-muatan negatif (karena muatan negatif menarik muatan positif).
3. Fluks medan listrik: gambaran garis gaya listrik yang menembus luasan secara normal.

C. PENUTUP

❖ TINDAK LANJUT

Setelah mengikuti materi pada bab ini, diharapkan mahasiswa mampu mencapai tujuan pembelajaran dan dapat melanjutkan materi pada bab selanjutnya.

D. DAFTAR PUSTAKA

- Serway, R.A, and Jewett, J.W. 2010. Fisika untuk Sains dan Teknik. Edisi 6. Salemba Teknika, Jakarta.
- Guntoro, N.A. 2013. Fisika Terapan. PT Remaja Rosdakarya. Cetakan pertama. Bandung.
- Jati, B.M.E, dan Priyambodo, T.K. 2010. Fisika Dasar Listrik-Magnet-Optika-Fisika Modern. ANDI. Yogyakarta.
- Bueche, F.J, and Hecht E. 1997. Schaum's outline of Theory and Problems of College Physics. Ninth edition. McGraw-Hill. United States of America.
- Giancoli, D.C. 2002. Fisika Prinsip dan Aplikasi Jilid 2. Edisi 7. Erlangga. Jakarta.

A. PENDAHULUAN

Bab ini memaparkan tentang besaran fisika yang berhubungan dengan potensial listrik dan energi potensial. Jika sebuah muatan terletak dalam ruang yang mengandung medan listrik, dari muatan yang mula-mula diam menjadi bergerak, ini berarti muatan mengalami pertambahan energi kinetik yang semula nol menjadi tidak nol. Jika tidak ada gaya luar yang kita berikan pada muatan, maka pastilah ada penambahan energi kinetik yang disertai dengan perubahan energi ke bentuk lain sehingga energi total adalah konstan (Hukum kekekalan energi). Energi bentuk lain yang paling mungkin dimiliki partikel tersebut adalah energi potensial. Dengan demikian, partikel bermuatan listrik yang berada dalam ruang yang mengandung medan listrik memiliki energi potensial listrik.

1. Kemampuan Akhir yang diharapkan

- Mahasiswa menganalisa tentang muatan yang bergerak
- Mahasiswa memahami dan mengetahui penjelasan tentang potensial listrik dan energi potensial dari muatan yang bergerak
- Mahasiswa melakukan perhitungan hubungan energi potensial dengan medan listrik pada muatan yang bergerak

2. Capaian pembelajaran

- Mahasiswa mampu menjelaskan tentang muatan yang bergerak

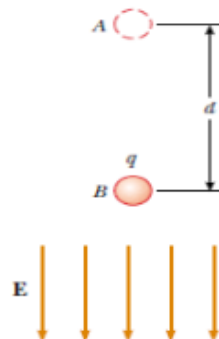
- Mahasiswa mampu memahami dan mengetahui penjelasan tentang potensial listrik dan energi potensial dari muatan yang bergerak
- Mahasiswa mampu melakukan perhitungan hubungan energi potensial dengan medan listrik pada muatan yang bergerak

B. PENYAJIAN

❖ URAIAN

Energi potensial per satuan muatan U/q_0 bersifat bebas dari nilai q_0 dan memiliki nilai unik di setiap titik dalam Medan listrik. Besarnya nilai U/q_0 disebut potensial listrik (Voltage). Dengan demikian, potensial listrik pada setiap titik dalam medan listrik adalah

$$V = \frac{U}{q_0} \quad (3.1)$$

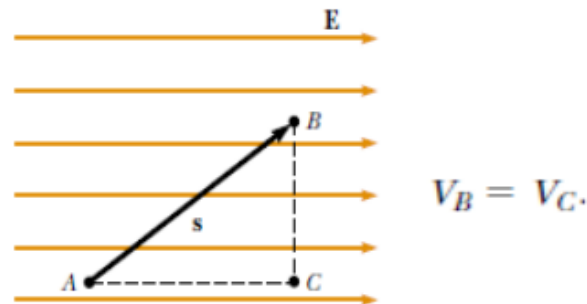


Gambar 3.1. partikel muatan yang bergerak pada medan listrik

Perbedaan potensial antara dua titik A dan B (gambar 3.1) dalam suatu medan listrik didefinisikan sebagai perubahan energi potensial dari sistem dibagi dengan muatan uji, yang dirumuskan:

$$q_0 \Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} \Rightarrow \Delta U = q_0 \Delta V = -q_0 E d \quad (3.2)$$

Permukaan Ekuipotensial; Semua titik-titik pada permukaan ekuipotensial mempunyai potensial listrik yang sama. Medan listrik E selalu terarah tegak lurus terhadap permukaan ekuipotensial yang terkait (Gambar 3.2).



Gambar 3.2. nilai potensial listrik yang sama pada permukaan ekuipotensial

Menghitung V dari E;

Beda potensial listrik antara titik A dan titik B adalah:

$$V_B - V_A = - \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

Jika $V_A = 0$, maka: $E \cdot ds = k_e \frac{q}{r^2} ds$, dan

$$V_B - V_A = - \int E \cdot dr = -k_e q \int_{r_A}^{r_B} \frac{dr}{r^2} = k_e \frac{q}{r^2} \left\{ r_B \right.$$

$$\left. V_B - V_A = k_e q \left[\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right] \right.$$

$$\text{Sehingga} \rightarrow V = k_e \frac{q}{r} \quad (3.3)$$

Potensial akibat dipol listrik; Pada jarak r dari suatu dipol listrik dengan besar momen dipol $p=qd$, dan potensial listrik dipol: Untuk $r \gg d$;

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p \cos \theta}{r^2} \quad (3.4)$$

Potensial akibat distribusi muatan kontinu,

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r} \quad (3.5)$$

Menghitung E dari V

Komponen E dari arah manapun adalah negatif dari laju perubahan potensial terhadap jarak dalam arah itu.

$$E_x = -\frac{dV}{dx} \rightarrow E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}; E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}; E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}$$

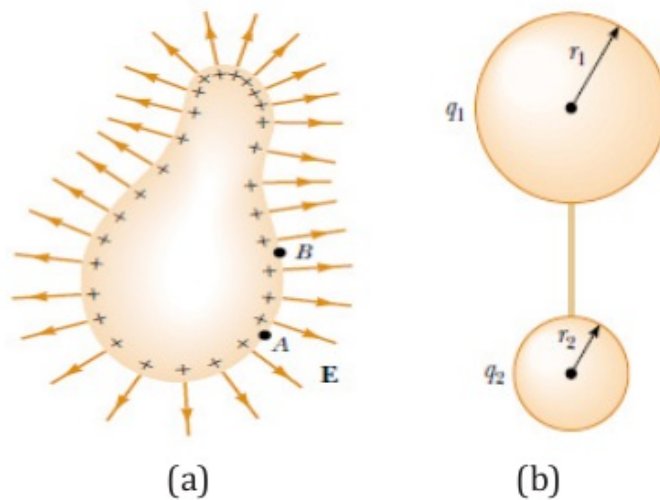
Energi potensial listrik dari sistem muatan titik

Energi potensial listrik dari sistem muatan titik adalah sama dengan usaha yang diperlukan untuk menyusun sistem dengan muatan-muatan awalnya yang diam dan berjarak tak hingga satu sama lain. Untuk dua muatan dengan jarak pisah r ,

$$U = W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r} \quad (3.6)$$

Potensial dari konduktor bermuatan

Kelebihan muatan yang ditempatkan pada suatu konduktor, dalam keadaan kesetimbangan, akan sepenuhnya berada pada permukaan luar konduktor. Muatan akan mendistribusikan diri sehingga keseluruhan konduktor, termasuk titik-titik interior berada pada potensial yang seragam (Gambar 3.3).



Gambar 3.3. (a) Konduktor dengan bentuk sembarang bermuatan positif; (b) konduktor bermuatan berbentuk bola

kedua bola penghantar yang bermuatan mempunyai potensial listrik:

$$V = k_e \frac{q_1}{r_1} = k_e \frac{q_2}{r_2} \rightarrow \frac{q_1}{q_2} = \frac{r_1}{r_2},$$

$$\text{maka } E_1 = k_e \frac{q_1}{r_1^2}, \text{ dan } E_2 = k_e \frac{q_2}{r_2^2}$$

$$\text{Sehingga: } \frac{E_1}{E_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (3.7)$$

❖ CONTOH

- (a) Diketahui muatan $2 \mu\text{C}$, berapakah potensial listrik pada jarak $r_1 = 10 \text{ cm}$ dan $r_2 = 50 \text{ cm}$? (b) Berapa usaha yang dibutuhkan untuk memindahkan partikel bermuatan $0,05 \mu\text{C}$ dari titik pada $r = 50 \text{ cm}$ ke titik pada $r = 10 \text{ cm}$.

Penyelesaian

$$(a) \quad V_1 = k \frac{q}{r_1} = (9 \times 10^9) \frac{2 \times 10^{-6}}{0,01} = 1,8 \times 10^5 \text{ V} = 180 \text{ kV}$$

$$(b) \text{ Usaha} = q (V_1 - V_2) = (5 \times 10^{-8})(1,44 \times 10^5 \text{ V}) = 7,2 \text{ mJ}$$

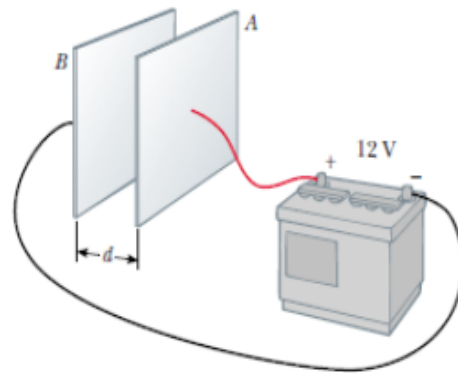
2. Dua plat sejajar diberi muatan untuk menghasilkan beda potensial 50 V. jika jarak antara kedua plat adalah 0,05 m, maka hitung besar medan listrik dalam ruang di antara dua plat.

Penyelesaian

Besar medan listrik $\rightarrow E = V_{ba}/d = (50 \text{ V}/0,05 \text{ m}) = 1000 \text{ V/m}$

❖ LATIHAN

1. Baterai menghasilkan perbedaan potensial yang ditentukan antara konduktor yang terpasang pada terminal baterai. Baterai 12-V terhubung antara dua pelat paralel, seperti yang ditunjukkan pada Gambar.



Pemisahan antara pelat adalah $d = 0,30 \text{ cm}$, dan dianggap medan listrik antara pelat menjadi seragam, (Baterai 12-V terhubung ke dua pelat paralel. Medan listrik antara pelat memiliki magnitudo yang diberikan oleh beda potensial V dibagi dengan pemisahan pelat d .) Tentukan besarnya medan listrik antara pelat.

2. **Hitung** $E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}$, jika diketahui $V = 3x^2y + y^2 + yz$.

❖ RANGKUMAN

1. Saat muatan uji positif dipindahkan dari titik A ke titik B dalam medan listrik akan terjadi perubahan energi potensial pada sistem medan-muatan.
2. Potensial listrik merupakan besaran skalar dengan satuan J/C ($1 \text{ J/C} = 1 \text{ V}$)

3. Beda potensial terjadi antara dua titik A dan B dalam medan listrik yang homogen dengan jarak tertentu.
4. Permukaan ekuipotensial; permukaan seluruh titiknya mempunyai potensial listrik yang sama.

C. PENUTUP

❖ TINDAK LANJUT

Setelah mengikuti materi pada bab ini, diharapkan mahasiswa mampu mencapai tujuan pembelajaran dan dapat melanjutkan materi pada bab selanjutnya.

D. DAFTAR PUSTAKA

- Serway, R.A, and Jewett, J.W. 2010. Fisika untuk Sains dan Teknik. Edisi 6. Salemba Teknika, Jakarta.
- Guntoro, N.A. 2013. Fisika Terapan. PT Remaja Rosdakarya. Cetakan pertama. Bandung.
- Jati, B.M.E, dan Priyambodo, T.K. 2010. Fisika Dasar Listrik-Magnet-Optika-Fisika Modern. ANDI. Yogyakarta.
- Bueche, F.J, and Hecht E. 1997. Schaum's outline of Theory and Problems of College Physics. Ninth edition. McGraw-Hill. United States of America.
- Giancoli, D.C. 2002. Fisika Prinsip dan Aplikasi Jilid 2. Edisi 7. Erlangga. Jakarta.

A. PENDAHULUAN

Bab ini memaparkan tentang besaran fisika yang berhubungan dengan arus listrik, arah arus listrik, hambatan suatu penghantar, beda potensial di antara dua titik, kuat arus, daya listrik, serta Hukum Ohm.

1. Kemampuan Akhir yang diharapkan
 - Mahasiswa mengetahui tentang penjelasan arus listrik
 - Mahasiswa memahami tentang penjelasan hambatan, dan tegangan
 - Mahasiswa menganalisa hubungan kuat arus, hambatan, dan tegangan dalam Hukum Ohm
 - Mahasiswa mengetahui cara menghitung daya listrik
2. Capaian pembelajaran
 - Mahasiswa mampu mengetahui tentang penjelasan arus listrik
 - Mahasiswa mampu memahami tentang penjelasan hambatan, dan tegangan
 - Mahasiswa mampu menganalisa hubungan kuat arus, hambatan, dan tegangan dalam Hukum Ohm
 - Mahasiswa mampu mengetahui cara menghitung daya listrik

B. PENYAJIAN

❖ URAIAN

Arus listrik adalah kelajuan muatan listrik yang mengalir melalui permukaan. Jika ΔQ adalah jumlah muatan listrik yang

mengalir pada selang waktu Δt , maka arus listrik rata-rata sama dengan:

$$I_{rata-rata} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (4.1)$$

Satuan coulomb diturunkan dari satuan SI Ampere untuk arus listrik I . Arus adalah laju dQ/dt dimana muatan bergerak dalam waktu tertentu.

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (\text{Arus listrik}) \quad (4.2)$$

Untuk menentukan arah arus listrik digunakan arah yang sama dengan aliran muatan listrik positif (Gambar 4.1.a), arah arus berlawanan dengan arah aliran elektron (Gambar 4.1.b).



Gambar 4.1. (a) Arah aliran muatan positif; (b) arah aliran arus – arah aliran elektron

Arus listrik yang dihasilkan dalam rangkaian membutuhkan beda potensial (tegangan), salah satu contoh menggunakan baterai. George Simon Ohm (1787-1854) melakukan eksperimen yang menghasilkan pernyataan bahwa arus yang mengalir (I) pada kawat logam sebanding dengan beda potensial (V) yang diberikan ke ujung-ujungnya $\rightarrow \rightarrow \rightarrow I \approx V$.

Besarnya arus tidak hanya bergantung pada beda potensial (V), tetapi juga pada resistansi/hambatan (R) yang diberikan kawat terhadap aliran elektron. Sehingga Ohm menyatakan hubungan antara kuat arus, hambatan, dan beda potensial dengan Hukum Ohm:

$$V=IR. \quad (4.3)$$

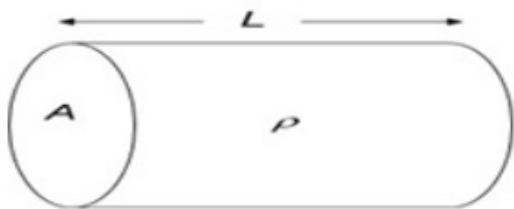
Dengan satuan resistensi adalah Ohm (Ω).

Tahanan listrik adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan aliran arus listrik di dalam bahan tersebut. Tahanan listrik dipengaruhi oleh dimensi dan resistivitas bahan (Gambar 4.2), dengan hubungan:

$$R = \frac{\rho L}{A} \tag{4.4}$$

Keterangan:

R = tahanan (Ω) ρ = resistivitas bahan ($\Omega.m$)
 L = panjang bahan (m) A = luas penampang (m^2)



Gambar 4.2 Tahanan listrik

Tabel resistivitas¹ setiap bahan, dan cara membaca nilai resistor pada bahan dapat dilihat pada tabel 4.1.

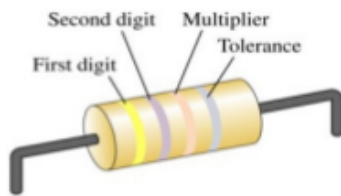
Tabel 4.1. Nilai Resistivitas Bahan

Table 25.1 Resistivities at Room Temperature (20°C)				
Substance		$\rho (\Omega \cdot m)$	Substance	$\rho (\Omega \cdot m)$
Conductors	Semiconductors			
	Metals:		Pure carbon (graphite)	3.5×10^{-5}
	Silver	1.47×10^{-8}	Pure germanium	0.60
	Copper	1.72×10^{-8}	Pure silicon	2300
	Gold	2.44×10^{-8}	Insulators	
	Aluminum	2.75×10^{-8}	Amber	5×10^{14}
	Tungsten	5.25×10^{-8}	Glass	$10^{10} - 10^{14}$
	Steel	20×10^{-8}	Lucite	$> 10^{13}$
	Lead	22×10^{-8}	Mica	$10^{11} - 10^{15}$
	Mercury	95×10^{-8}	Quartz (fused)	75×10^{16}
Alloys:	Manganin (Cu 84%, Mn 12%, Ni 4%)	44×10^{-8}	Sulfur	10^{15}
	Constantan (Cu 60%, Ni 40%)	49×10^{-8}	Teflon	$> 10^{13}$
	Nichrome	100×10^{-8}	Wood	$10^8 - 10^{11}$

Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley.

Untuk menentukan nilai resistivitas tahanan, dapat dilihat juga pada warna yang terdapat pada resisitor tersebut, nilai warna resistor dapat dilihat pada table 4.2.

Tabel. 4.2 Nilai warna pada resistor.



Gambar 4.3 Resistor

Table 25.3 Color Codes for Resistors

Color	Value as Digit	Value as Multiplier
Black	0	1
Brown	1	10
Red	2	10 ²
Orange	3	10 ³
Yellow	4	10 ⁴
Green	5	10 ⁵
Blue	6	10 ⁶
Violet	7	10 ⁷
Gray	8	10 ⁸
White	9	10 ⁹

Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley

Usaha listrik yang diperlukan untuk memindahkan muatan Q melintasi beda potensial (V) adalah:

$$\text{Usaha} = Q V \quad (4.5)$$

Daya listrik (P) yang dihasilkan sumber energi dalam membawa muatan Q melintasi beda potensial yang naik dalam waktu t adalah:

$$\text{Daya yang diberikan} = \frac{\text{usaha}}{\text{waktu}} = \frac{VQ}{t}$$

Laju dimana energi diubah menjadi resistensi R dari listrik ke bentuk energi lainnya (seperti kalor dan cahaya) adalah sama dengan hasil kali arus dan tegangan. Artinya, **Daya** yang berubah diukur dalam **Watt**, diberikan oleh:

$$\text{Karena } Q/t = I, \text{ maka } P = I V \quad (4.6)$$

Yang untuk resistor dapat ditulis sebagai:

$$P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

❖ CONTOH

1. Pada suatu penghantar mengalir muatan listrik sebanyak 60 coulomb selama 0,5 menit. Hitung besar arus listrik yang mengalir pada penghantar tersebut ?

Penyelesaian:

$$I = Q/T$$

$$I = 60 / 30$$

$$I = 2 \text{ Ampere}$$

∴ Besar kuat arus listrik yang mengalir pada penghantar 2 Ampere.

2. Lampu pijar mempunyai hambatan $240\ \Omega$. Berapa besar arus listrik yang mengalir jika dihubungkan dengan sumber yang potensialnya adalah 120 V.

Penyelesaian

$$I = V/R = 120/240 = 0,5\text{ A}$$

∴ Arus yang mengalir sebesar 0,5 A

3. Apabila lampu pijar 60 W berhubungan dengan tegangan 120 V, berapa arus yang terpakai.

Penyelesaian

$$P = IV \rightarrow I = P/V = 60/120 = 0,5\text{ A}$$

∴ Arus yang terpakai sebesar 0,5 A

❖ **LATIHAN**

1. Arus listrik sebesar 200 mA mengalir selama 1 jam. Tentukan jumlah muatan pada arus tersebut!
2. Energi/Kerja listrik diketahui besarnya 12 kJ, dan besarnya muatan adalah 200 C. Tentukan nilai Tegangannya!
3. Nilai arus yang diketahui ditentukan dari keberadaan perbedaan tegangan yang ada, dimana arus mengalir dari nilai tegangan tinggi ke tegangan rendah. Hubungan nilai arus dan tegangan mempunyai faktor X yang mendukung nilai tersebut. Faktor X yang dimaksud adalah...
4. Sebuah lampu dipasang pada tegangan 220 volt dan menghasilkan kuat arus listrik sebesar 0,25 A. Berapa nilai energi kWh yang digunakan lampu dalam 12 jam

❖ RANGKUMAN

1. Arus listrik adalah kelajuan muatan listrik yang mengalir melalui permukaan.
2. Untuk menentukan arah arus listrik digunakan arah yang sama dengan aliran muatan listrik positif
3. Besarnya arus tidak hanya bergantung pada beda potensial (V), tetapi juga pada resistansi/hambatan (R) yang diberikan kawat terhadap aliran elektron, yang dinyatakan dengan Hukum Ohm
4. Tahanan listrik adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan aliran arus listrik di dalam bahan tersebut.
5. Daya listrik (P) dihasilkan oleh sumber energi dalam membawa muatan Q melintasi beda potensial yang naik dalam waktu t .

C. PENUTUP

❖ TINDAK LANJUT

Setelah mengikuti materi pada bab ini, diharapkan mahasiswa mampu mencapai tujuan pembelajaran dan dapat melanjutkan materi pada bab selanjutnya.

D. DAFTAR PUSTAKA

- Serway, R.A, and Jewett, J.W. 2010. Fisika untuk Sains dan Teknik. Edisi 6. Salemba Teknika, Jakarta.
- Guntoro, N.A. 2013. Fisika Terapan. PT Remaja Rosdakarya. Cetakan pertama. Bandung.
- Jati, B.M.E, dan Priyambodo, T.K. 2010. Fisika Dasar Listrik-Magnet-Optika-Fisika Modern. ANDI. Yogyakarta.
- Bueche, F.J, and Hecht E. 1997. Schaum's outline of Theory and Problems of College Physics. Ninth edition. McGraw-Hill. United States of America.
- Giancoli, D.C. 2002. Fisika Prinsip dan Aplikasi Jilid 2. Edisi 7. Erlangga. Jakarta.

Rangkaian Listrik Searah



A. PENDAHULUAN

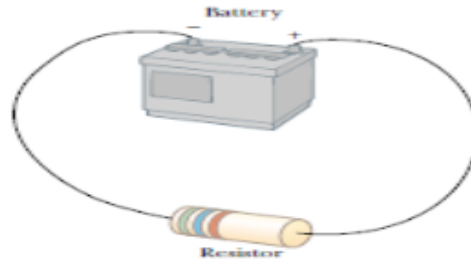
Bab ini memaparkan tentang besaran fisika yang berhubungan dengan rangkaian listrik sederhana yang terdiri atas baterai, resistor, dan kapasitor dalam berbagai macam kombinasi. Analisis rangkaian yang lebih rumit disederhanakan dengan menggunakan dua aturan yang dikenal dengan Hukum Kirchoff. Arus yang arahnya konstan dinamakan arus searah (DC).

1. Kemampuan Akhir yang diharapkan
 - Mahasiswa mengetahui penjelasan tentang rangkaian listrik searah (DC)
 - Mahasiswa menganalisa rangkaian dengan Hukum Kirschoff
2. Capaian pembelajaran
 - Mahasiswa mampu mengetahui penjelasan rangkaian listrik searah (DC)
 - Mahasiswa mampu menganalisa rangkaian dengan Hukum Kirschoff

B. PENYAJIAN

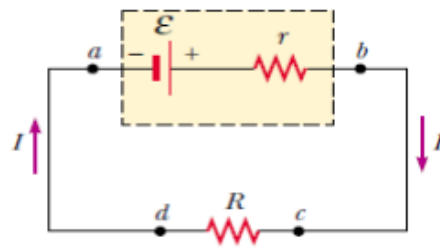
❖ URAIAN

Beda potensial pada kutub-kutub baterai adalah konstan, maka jarak dan arah arus dalam rangkaian juga konstan. Arus tersebut = arus searah.



Gambar 4.1. Beda potensial baterai

GGL baterai= tegangan maksimum yang telah dihasilkan oleh baterai di antara kutub-kutubnya.



Gambar 4.2. GGL baterai

Hambatan dalam baterai = r ; Hambatan Resistor = R ; ε tegangan baterai. Tegangan jepit $\Delta V = V_b - V_a$,

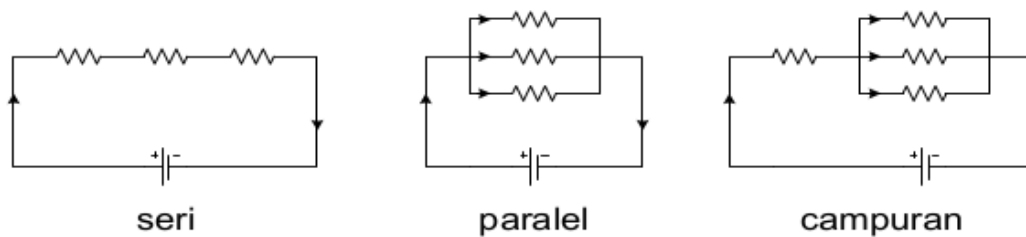
$$\Delta V = \varepsilon - Ir \quad (5.1)$$

Hambatan beban terdapat pada Resistor. Beda potensial pada hambatan beban adalah; $\Delta V = IR$. Maka ε menjadi

$$\varepsilon = IR + Ir \quad (5.2)$$

Arusnya menjadi;
$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

Dalam suatu rangkaian listrik umumnya akan digunakan beberapa hambatan. Hambatan tersebut kadang-kadang disusun secara seri, paralel atau campuran seri dan paralel.



Gambar 4.3. Rangkaian resistor seri, paralel, dan campuran.

- a. Rangkaian resistor seri: $R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ (5.3)

Untuk sebuah rangkaian seri yang terdiri dari dua resistor atau lebih, arusnya sama besar di semua resistor karena jumlah muatan yang melewati R1 pasti melewati R2 dalam selang waktu yang sama.

- b. Ketika resistor-resistor dihubungkan secara paralel, beda potensial adalah sama. Rangkaian resistor paralel:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (5.4)$$

Khusus untuk 2 hambatan yang disusun secara paralel, besarnya hambatan pengganti dapat ditentukan melalui persamaan

$$R_p = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Hukum Kirchhoff

- HUKUM KIRCHOFF I : jumlah arus menuju suatu titik cabang sama dengan jumlah arus yang meninggalkannya.

$$\Sigma I_{in} = \Sigma I_{out} \quad (5.5)$$

- HUKUM KIRCHOFF II : dalam rangkaian tertutup, jumlah aljabar GGL (ϵ) dan jumlah penurunan potensial sama dengan nol.

$$\Sigma \epsilon + \Sigma IR = 0 \quad (5.6)$$

Rangkaian Dengan Satu Loop

Dalam rangkaian satu loop, kuat arus yang mengalir adalah sama, yaitu sebesar I . jika pada rangkaian dibuat loop a-b-c-d-a, maka sesuai hukum kirchoff II :

$$\begin{aligned}\Sigma \varepsilon + \Sigma I.R \\ (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) + I (R_4 + r_2 + R_3 + r_1) = 0\end{aligned}$$

Rangkaian RC

Rangkaian yang memuat suatu kombinasi dari sebuah resistor dan kapasitor. Jika rangkaian RC yang berisi resistor R yang seri dengan kapasitansi C dihubungkan dengan sumber ggl DC, voltase kapasitor berangsur-angsur naik dalam waktu yang dinyatakan dengan eksponensial dari bentuk $(1 - e^{-t/RC})$, di mana konstanta waktu adalah

$$\tau = RC \quad (5.7)$$

Ini merupakan waktu yang diperlukan voltase untuk mencapai 63% dari nilai maksimumnya. Kapasitor yang melepaskan muatan melalui resistor ditandai oleh konstanta waktu yang sama; dalam waktu $\tau = RC$, voltase antara pelat kapasitor turun sampai 37% dari nilai awalnya. Muatan pada kapasitor, dan voltase yang melintasinya, menurun sebesar $e^{-t/RC}$.

❖ CONTOH

1. Sebuah kapasitor tidak bermuatan dan sebuah resistor terhubung dalam rangkaian seri dengan sebuah baterai, jika $\varepsilon = 12V$, $C = 5\mu F$, dan $R = 8 \times 10^5 \Omega$, carilah konstanta waktu dari rangkaian, muatan maksimum pada kapasitor, arus maksimum dalam rangkaian.

Penyelesaian:

Konstanta waktu rangkaian adalah $\tau = RC = (8 \times 10^5 \Omega) \times (5 \times 10^{-6} F)$. Muatan maksimum pada kapasitor adalah $Q = C\varepsilon = (5\mu F)$

$(12V)=60\mu C$. Arus maksimum pada rangkaian adalah $I_0=\varepsilon/R=(12V)/(8\times 10^5\Omega)=15\mu A$.

$$q(t) = (6 \mu C)(1-e^{-t/4s})$$

$$I(t) = (15 \mu A)e^{-t/4s}$$

2. Jika kapasitor bermuatan, $C=35\mu F$, dihubungkan dengan resistansi $R=120\Omega$, berapa waktu yang diperlukan sampai voltase jatuh ke 10% nilai awal (maksimum)?

Penyelesaian:

Konstanta waktu untuk rangkaian ini dinyatakan dengan

$$\tau = RC = (120\Omega) \times (35 \times 10^{-6}F) = 4,2 \times 10^{-3} s.$$

Setelah waktu t voltase kapasitor akan bernilai

$$V_c = V_0 e^{-t/RC}.$$

Kita ingin tahu waktu t di mana $V_c = (0,10)V_0$. Kita substitusikan ke dalam persamaan di atas

$$0,10 V_0 = V_0 e^{-t/RC}.$$

Jadi

$$e^{-t/RC}=0,10$$

operasi inversi (kebalikan) eksponensial e merupakan logaritma natural, \ln . Maka

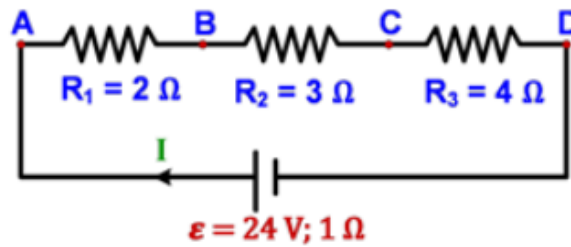
$$\ln(e^{-t/RC}) = -t/RC = \ln 0,10 = -2,3$$

Berarti waktu yang diperlukan adalah

$$t = 2,3 (RC) = (2,3) (4,2 \times 10^{-3} s) = 9,7 \times 10^{-3} s = 9,7 ms.$$

❖ **LATIHAN**

1. Nilai sebuah tegangan dengan hambatan dalam seperti yang terlihat pada gambar berikut, dirangkai dengan tiga resistor secara seri. Tentukan nilai arus yang mengalir pada rangkaian tersebut!



❖ RANGKUMAN

1. Beda potensial pada kutub-kutub baterai adalah konstan, maka jarak dan arah arus dalam rangkaian juga konstan. Arus tersebut = arus searah.
2. Rangkaian resistor seri: $R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$
3. Rangkaian resistor paralel: $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$
4. Hukum Kirchoff
 - HUKUM KIRCHOFF I : jumlah arus menuju suatu titik cabang sama dengan jumlah arus yang meninggalkannya.

$$\Sigma I_{in} = \Sigma I_{out}$$
 - HUKUM KIRCHOFF II : dalam rangkaian tertutup, jumlah aljabar GGL (ϵ) dan jumlah penurunan potensial sama dengan nol.

$$\Sigma \epsilon + \Sigma IR = 0$$
5. Jika rangkaian RC yang berisi resistor R yang seri dengan kapasitansi C dihubungkan dengan sumber ggl DC, voltase kapasitor berangsur-angsur naik dalam waktu yang dinyatakan dengan eksponensial dari bentuk $(1 - e^{-t/RC})$, di mana konstanta waktu adalah $\tau = RC$.

C. PENUTUP

❖ TINDAK LANJUT

Setelah mengikuti materi pada bab ini, diharapkan mahasiswa mampu mencapai tujuan pembelajaran dan dapat melanjutkan materi pada bab selanjutnya.

D. DAFTAR PUSTAKA

Serway, R.A, and Jewett, J.W. 2010. Fisika untuk Sains dan Teknik. Edisi 6. Salemba Teknika, Jakarta.

Guntoro, N.A. 2013. Fisika Terapan. PT Remaja Rosdakarya. Cetakan pertama. Bandung.

Jati, B.M.E, dan Priyambodo, T.K. 2010. Fisika Dasar Listrik-Magnet-Optika-Fisika Modern. ANDI. Yogyakarta.

Bueche, F.J, and Hecht E. 1997. Schaum's outline of Theory and Problems of College Physics. Ninth edition. McGraw-Hill. United States of America.

Giancoli, D.C. 2002. Fisika Prinsip dan Aplikasi Jilid 2. Edisi 7. Erlangga. Jakarta.

Stanford, A. L. and Tanner, J. M., 1985, Physics for Students of Science and Engineering, Academic Press, Inc., Orlando.

Young, H.D., and Freedman, R.A., 2000, Sears and Zemansky's University Physics, Addison-Wesley, San Francisco.

Raymond A. Serway & John W. Jewett, Physics for Scientists and Engineers.

David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, Fundamentals of Physics Extended.

http://ishafit.pfis.uad.ac.id/?page_id=30

http://personal.fmipa.itb.ac.id/khbasar/?page_id=28

Rangkaian Listrik Bolak Balik



A. PENDAHULUAN

Bab ini memaparkan tentang tahanan (R), Kapasitor (C), Induktor (L), LC, dan RLC pada rangkaian arus bolak-balik (AC). Arus AC praktis digunakan dalam rumah karena untuk menaikkan dan menurunkan tegangan dibutuhkan transformator.

1. Kemampuan Akhir yang diharapkan
 - Mahasiswa menentukan besar arus listrik dan tegangan pada rangkaian arus bolak-balik.
 - Mahasiswa menentukan daya listrik dan impedansinya.
2. Capaian pembelajaran
 - Mahasiswa mampu menentukan besar arus listrik dan tegangan pada rangkaian arus bolak-balik.
 - Mahasiswa menentukan daya listrik dan impedansinya.

B. PENYAJIAN

❖ URAIAN

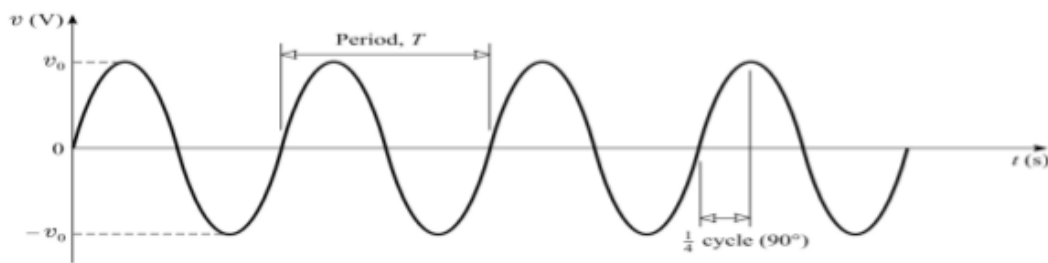
Arus bolak-balik adalah aliran arus positif pada konduktor yang berubah terhadap waktu. Sumber arus AC ini adalah GGL (Gaya Gerak Listrik).

Sumber Arus Ac

Tegangan bolak-balik (Δv) berubah sesuai dengan waktu terhadap tegangan keluaran maksimum dari sumber AC atau amplitudo tegangan (ΔV_{maks}).

$$\Delta v = \Delta V_{max} \sin \omega t \quad (6.1)$$

Frekuensi sudut dari tegangan AC:



Gambar. 5.1. Grafik arus bolak-balik

GGL yang dibangkitkan kumparan yang berputar, GGL ini adalah Tegangan AC. Jika kumparan berputar dengan frekuensi f putaran per detik, maka GGL berfrekuensi f (Hz). Tegangan sesaat yang bangkit berbentuk: $v = v_0 \sin \omega t = v_0 \sin 2\pi f t$

Sumber voltase bolak-balik direpresentasikan oleh simbol,



Yang menghasilkan voltase sinusoidal berfrekuensi f . diasumsikan setiap kasus bahwa GGL menimbulkan kenaikan arus: $I = I_0 \cos 2\pi f t$. Dimana t adalah waktu, dan I_0 adalah arus puncak.

Kumparan yang berputar bukan satu-satunya sumber tegangan AC, diantaranya adalah barang elektronik, yang dapat menghasilkan arus AC. Grafik arus AC hampir sama dengan grafik tegangan AC, namun untuk terjadinya nilai maksimum (Amplitudo) tidak terjadi pada saat yang sama, meski frekuensinya sama.

Alat ukur besaran AC menunjukkan nilai efektif atau nilai rms arus maupun tegangan. Nilai yang terbaca oleh meteran listrik adalah arus dan tegangan efektif (rms:root mean square). Nilai ini selalu positif, hubungan dengan amplitudo sesaatnya adalah:

$$V = V_{rms} = \frac{v_0}{\sqrt{2}} = 0,707 v_0 \quad (6.2)$$

$$I = I_{rms} = \frac{i_0}{\sqrt{2}} = 0,707i_0 \quad (6.3)$$

Kalor yang dibangkitkan atau Daya yang dihilangkan arus efektif **I** dalam resistor **R** dirumuskan dengan **P = I²R**

Misal arus berbentuk sinus dengan frekuensi **f** dan nilai efektif **I** mengalir resistor murni **R**, atau Induktir murni **L**, atau kapasitor murni **C**. Maka voltmeter AC yang dihubungkan pada unsur tersebut, akan menunjuk nilai **V** sebagai berikut:

Dalam resistor murni: $V = IR$ (6.4)

Dalam Induktor murni: $V = IX_L$ (6.5)

Dalam Kapasitor murni: $V = IX_C$ (6.6)

Keterangan:

X_L = reaktansi Induktif = $2 \pi f L$ (Ohm), **L** (Henry)

X_C = reaktansi Kapasitif = $\frac{1}{2 \pi f C}$ (Ohm), **C** (Farad)

Resistor pada Rangkaian AC

Jika sebuah sumber AC dihubungkan dengan resistor, maka arus akan menguat dan melemah mengikuti GGL bolak-balik sesuai Hukum Ohm. Bila tegangan AC diadakan pada resistor murni, maka tegangan dan arus yang mengalir resistor akan mencapai NILAI MAKSIMUM pada saat yang **BERSAMAAN**, begitu juga nilai **NOLnya**, maka dapat dinyatakan bahwa Tegangan dan Arus **SEFASE**.

Jumlah tegangan yang mengelilingi loop tertutup sebuah rangkaian harus nol.

$$\Delta v + \Delta v_R = 0 \quad \rightarrow \quad \Delta v_R = I_{max} R \sin \omega t$$

$$\Delta v = \Delta v_R = \Delta V_{max} \sin \omega t$$

Besar tegangan pada resistor: Δv_R = tegangan sesaat pada resistor.

Jika dihubungkan dengan Hk. Ohm, nilai arus maksimum:

$$i_R = \frac{\Delta V_R}{R} = \frac{\Delta V_{max}}{R} \sin \omega t = I_{max} \sin \omega t, \quad \text{dengan } I_{max} = \frac{\Delta V_{max}}{R}$$

Suatu tegangan yang sinusoidal, arus dalam suatu resistor selalu sefase dengan tegangan pada resistor tersebut.

Dalam rangkaian AC terdapat nilai rata-rata arus, yaitu **arus rms** (*root mean square*).

$$I_{rms} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = 0.7071 I_{max} ; \text{ dan } \Delta V_{rms} = \frac{\Delta V_{max}}{\sqrt{2}} = 0.7071 \Delta V_{max} \quad (6.7)$$

Daya rata-rata ke resistor yang dialiri arus AC:

$$\rightarrow P_{av} = I_{rms}^2 R \quad (6.8)$$

Induktor pada rangkaian AC

Bila tegangan AC diadakan pada induktansi murni, maka tegangan mencapai nilai maksimumnya pada $\frac{1}{4}$ siklus sebelum arus mencapai nilai maksimumnya, yakni tegangan mencapai nilai maksimum pada saat arus mencapai nilai nol. GGL balik pada induktansi menyebabkan arus dalam induktansi tertinggal $\frac{1}{4}$ siklus (atau 90°) dari tegangannya, maka arus dan tegangan TIDAK SEFASE, atau BERBEDA FASE.

Jika tegangan sesaat yang muncul akibat induktansi diri pada induktor adalah $\Delta V_L = \varepsilon_L = -L \left(\frac{di}{dt} \right)$, maka aturan kirchoff menghasilkan: $\Delta V - L \frac{di}{dt} = 0$

Kita substitusikan dengan , untuk Δv .

$$\Delta V = L \frac{di}{dt} = \Delta V_{max} \sin \omega t \quad \rightarrow \quad di = \frac{\Delta V_{max}}{L} \sin \omega t dt$$

Maka nilai arus induktansinya adalah:

$$i_L = \frac{\Delta V_{max}}{L} \int \sin \omega t dt = -\frac{\Delta V_{max}}{\omega L} \cos \omega t \quad (6.9)$$

Rangkaian induktif mencapai nilai maksimum ketika $\cos \omega t = -1$, maka arus maksimum: $I_{max} = \frac{\Delta V_{max}}{\omega L}$, karena $X_L = \omega L$, maka nilai arus maksimumnya menjadi: $I_{max} = \frac{\Delta V_{max}}{X_L}$, dimana $X_L = \text{Reaktansi Induktif}$. Tegangan sesaat pada induktor; menjadi

$$\Delta V_L = -L \frac{di}{dt} = -\Delta V_{max} \sin \omega t = -I_{max} X_L \sin \omega t \quad (6.10)$$

Kapasitor pada Rangkaian AC

1 Bila tegangan AC diadakan pada kapasitor murni, tegangannya akan tertinggal 90° dari arus yang mengalir melalui kapasitor, arus harus mengalir dahulu sebelum terjadi beda potensial (sebelum muatan terhimpun) pada kapasitor.

$$\Delta V = \Delta V_C = \Delta V_{max} \sin \omega t$$

Jika $C = \frac{q}{\Delta V_C}$, maka nilai satu muatan adalah $q = C \Delta V_{max} \sin \omega t$

Karena arus dan voltase berbeda fase, maka daya rata-rata yang terbangun adalah nol. Jadi, pada rangkaian AC, hanya resistansi yang mendisipasi energi dalam bentuk energi kalor.

$$i_C = \frac{dq}{dt} = \omega C \Delta V_{max} \cos \omega t \quad (6.11)$$

$$\Delta V_C = \Delta V_{max} \sin \omega t = I_{max} X_C \sin \omega t \quad (6.12)$$

Arus pada rangkaian mencapai nilai maksimum ketika $\cos \omega t = 1$; maka $I_{max} = \omega C \Delta V_{max} = \frac{\Delta V_{max}}{\frac{1}{\omega C}}$

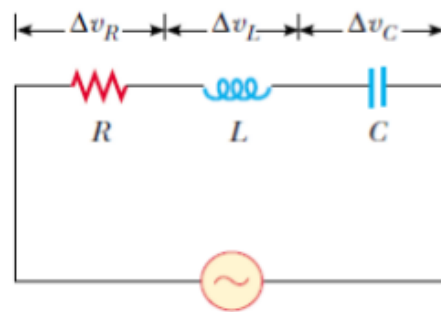
dengan Reaktansi kapasitif X_C , adalah $X_C \equiv \frac{1}{\omega C}$, maka nilai arus maksimum menjadi:

$$I_{max} = \frac{\Delta V_{max}}{X_C} \quad (6.13)$$

Rangkaian Seri RLC

Jika pada rangkaian R,L, dan C, tegangan dan arus pada umumnya (tetapi tidak selalu) TIDAK SEFASE. Sudut yang menyatakan berapa jauh tegangan tertinggal terhadap arus dan mendahului arus → SUDUT FASE. Arus di semua titik dalam rangkaian seri mempunyai amplitudo and fase yang sama.

Nilai tegangan adalah , dan nilai arus



Gambar 5.2 Rangkaian seri RLC

Dari gambar, untuk masing-masing nilai tegangannya adalah:

$$\Delta V_R = I_{max} R \sin \omega t = \Delta V_R \sin \omega t$$

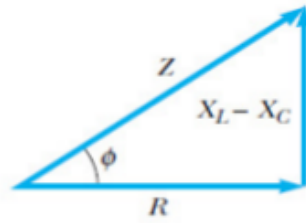
$$\Delta V_L = I_{max} X_L \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = \Delta V_L \cos \omega t$$

$$\Delta V_C = I_{max} X_C \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = -\Delta V_C \cos \omega t$$

Atau bisa dituliskan,

$$\Delta V_R = I_{max} R; \Delta V_L = I_{max} X_L; \text{ dan } \Delta V_C = I_{max} X_C \quad (6.14)$$

Impedance



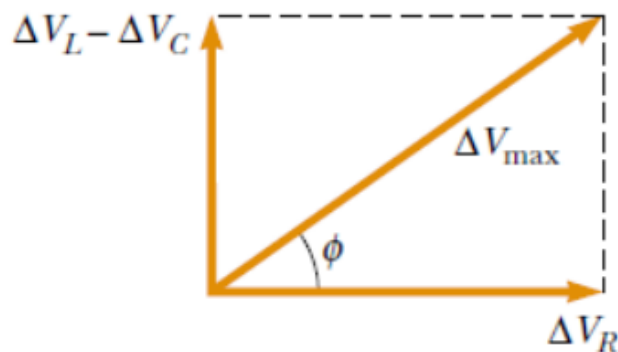
Gambar 5.3. Impedansi RLC

Impedansi rangkaian R,L dan C yang berhubungan secara SERI adalah:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (6.15)$$

¹ Dengan Z (Ohm), jika tegangan V diadakan pada rangkaian seri, maka berlaku Hukum Ohm, yaitu $V = I Z$. Sudut **fase antara V dan I adalah:**

$$\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R} \quad \text{atau} \quad \cos \phi = \frac{R}{Z} \quad (6.16)$$

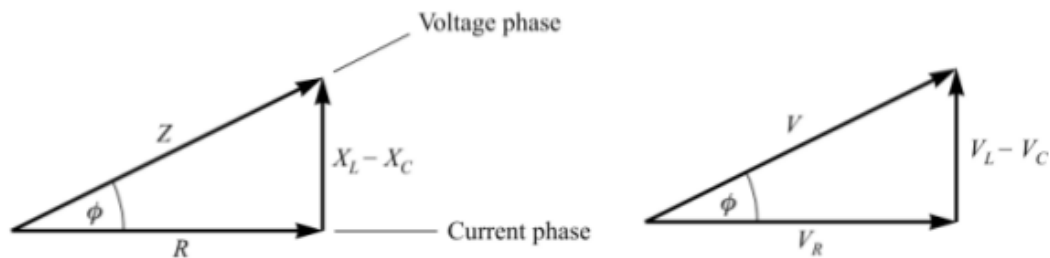


Gambar 5.4. Hubungan Tegangan R dengan Tegangan L dan C

$$\begin{aligned} \Delta V_{max} &= \sqrt{\Delta V_R^2 + (\Delta V_L - \Delta V_C)^2} \\ &= \sqrt{(I_{max}R)^2 + (I_{max}X_L - I_{max}X_C)^2} \end{aligned}$$

$$\Delta V_{max} = I_{max} \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \rightarrow \Delta V_{max} = I_{max} Z \quad (6.17)$$

Penggambaran vektor rangkaian RLC dimungkinkan, karena hubungan impedansi dapat dituangkan sebagai rumus Pythagoras segitiga siku-siku.



Gambar. 5.5 Hubungan Impedansi dalam Phytagoras

Hubungan ini juga berlaku untuk tegangan dalam rangkaian seri.

$$V^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2 \quad (6.18)$$

Berbeda dengan nilai tegangan sesaat, Voltmeter AC menunjukkan tidak akan pernah NEGATIF. Akibatnya tegangan yang ditunjukkan Voltmeter ketika dirangkai seri tidak sama dengan jumlah tegangan masing-masing unsur.

Daya pada Rangkaian AC

Daya rata-rata dalam resistor, adalah $P_{av} = I_{rms} \Delta V_{rms}$

Daya rata-rata dalam kapasitor dan induktor yang diberikan sumber adalah nol.

$$P = i \Delta V = I_{max} \sin(\omega t - \phi) \Delta V_{max} \sin \omega t$$

$$P = I_{max} \Delta V_{max} \sin \omega t \sin(\omega t - \phi)$$

$$P_{av} = I_{rms} \Delta V_{rms} \cos \phi, \rightarrow P_{av} = I_{rms}^2 R$$

1

Tegangan AC sebesar V diberikan pada Impedansi, tegangan ini menimbulkan arus I dalam Impedansi dan sudut fase antara V dan I adalah ϕ . Maka daya yang hilang dalam Impedansi adalah:

$$\text{Rugi Daya} = V I \cos \phi \quad (6.19)$$

1

Besaran $\cos \phi = \text{Faktor Daya}$. Untuk resistor murni faktor daya adalah 1, sedangkan untuk induktor dan kapasitor adalah 0 (tidak ada daya yang hilang dalam induktor atau kapasitor murni)

Resonansi

Resonansi terjadi dalam rangkaian RLC jika $X_L = X_C$. Pada keadaan ini nilai Z minimum hingga I maksimum untuk nilai V tertentu. Frekuensi resonansi rangkaian adalah:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (6.20)$$

Transformator

Alat untuk menaikkan atau menurunkan tegangan di dalam rangkaian AC. Transformator terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang dililitkan pada inti besi yang sama.

Arus AC pada salah satu kumparan membangkitkan Fluks yang berubah-ubah dalam inti tadi. Perubahan fluks ini mengimbaskan GGL yang berubah-ubah dalam kumparan lain. Efisiensi transformator biasanya tinggi sekali, dengan mengabaikan daya yang hilang dalam inti, maka nilai daya:

Daya dalam kumparan Primer = Daya dalam kumparan Sekunder

$$V_1 I_1 = V_2 I_2 \quad (6.21)$$

Perbandingan tegangan sama dengan perbandingan lilitan, sedangkan perbandingan arus kebalikan perbandingan lilitan.

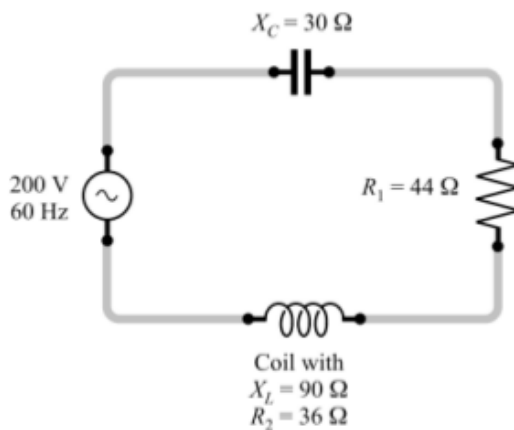
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{dan} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (6.22)$$

❖ **CONTOH (35:1,2,3,4,7)**

1. Sebuah Voltmeter menunjukkan tegangan AC berbentuk sinus 120 V dengan frekuensi 50 Hz.
 - a. Berapa harga maksimum tegangan satu siklus?
 - b. Bagaimana persamaan tegangan itu?

Penyelesaian:

- a. $V = \frac{v_0}{\sqrt{2}}$ maka $v_0 = \sqrt{2} V = \sqrt{2} 120 = 170 \text{ V}$
 - b. $v = v_0 \sin 2\pi ft = 170 \sin 100\pi t$
2. Rangkaian seri pada jaringan 200 V, 60 Hz. Terdiri dari reaktansi kapasitif 30, resistor non induktif 44, dan kumparan dengan reaktansi induktif 90 dan resistansi 36. tentukan:



- a. Arus dalam rangkaian
- b. Beda tegangan pada setiap unsur
- c. Faktor daya rangkaian
- d. Daya yang terserap oleh rangkaian

Penyelesaian:

- a. $Z = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_L - X_C)^2}$
 $Z = \sqrt{(44 + 36)^2 + (90 - 30)^2} = 100\Omega$
 $I = \frac{V}{Z} = \frac{200}{100} = 2 \text{ A}$
- b. beda potensial pada kapasitor $= IX_C = (2)(30) = 60\text{V}$
beda potensial pada resistor $= IR_1 = (2)(44) = 88\text{V}$
Impedansi kumparan $= \sqrt{R_2^2 + X_L^2} = \sqrt{36^2 + 90^2} = 97\Omega$
beda potensial pada kumparan $= IZ = (2)(97) = 194\text{V}$
- c. Faktor Daya $= \cos \phi = \frac{R}{Z} = \frac{80}{100} = 0,8$
- d. Daya terpakai $= VI \cos \phi = (200)(2)(0,8) = 320 \text{ W}$
atau $= I^2 R = (2)^2(80) = 320 \text{ W}$
3. Tentukan frekuensi resonansi rangkaian induktansi 50 mH dan kapasitansi 500 pF dengan resistansi yang dapat diabaikan.

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} f_0 &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(50 \times 10^{-3})(500 \times 10^{-12})}} \\ &= \frac{1}{2\pi(5 \times 10^{-6})} \\ &= \frac{1}{3,14 \times 10^{-5}} \\ &= 31,85 \text{ kHz} \end{aligned}$$

4. Sebuah trafo step-up dipakai menaikkan tegangan jaringan 150 V menjadi 2000 V. kalau kumparan primer mempunyai lilitan 120 lilitan, berapakah lilitan kumparan sekunder?

Penyelesaian:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{dan} \quad \frac{150}{2000} = \frac{120}{N_2} \rightarrow N_2 = \frac{120 \times 2000}{150} \\ = 1600 \text{ lilitan}$$

❖ **LATIHAN**

1. Berapa reaktansi dari kapasitor 6,2 μF pada frekuensi a) 60 Hz, dan b) 1 MHz
2. Bagaimana Cara kerja Finger Print, absen dengan jari dan tatap muka.
3. Tentukan impedansi total, sudut fase, dan arus rms pada rangkaian RLC yang dihubungkan dengan sumber 725 V (rms) 10 kHz, jika $L=28 \text{ mH}$, $R=8,7 \text{ k}\Omega$, dan $C=6250 \text{ pF}$.
4. Bagaimana cara distribusi listrik dari trafo pembangkit listrik ke daerahmu.
5. Lampu meja berintensitas tinggi membutuhkan daya 45W, tetapi hanya membutuhkan voltase 12V. lampu ini memiliki transformator yang mengubah voltase rumah 120V. (a) Jenis transformator apakah yang digunakan, *step-up* atau *step-down*? (b) Berapa kuat arus pada kumparan sekunder pada saat lampu dinyalakan? (c) Berapa kuat arus kumparan primer? Dan (d) Berapa resistensi lampu ketika hidup?

❖ **RANGKUMAN**

1. Arus bolak-balik adalah aliran arus positif pada konduktor yang berubah terhadap waktu.
2. ¹Alat ukur besaran AC menunjukkan nilai efektif atau nilai rms arus maupun tegangan:

3. Daya yang dihilangkan arus efektif I dalam resistor R dirumuskan dengan $P = I^2 R$
4. Sumber AC yang dihubungkan dengan resistor, maka arus akan menguat dan melemah mengikuti GGL bolak-balik sesuai Hukum Ohm, Tegangan dan Arus **SEFASE**.
5. Tegangan AC diadakan pada induktansi murni, **GGL balik pada induktansi menyebabkan arus dalam induktansi tertinggal $\frac{1}{4}$ siklus (atau 90°) dari tegangannya, maka arus dan tegangan TIDAK SEFASE.**
6. Tegangan AC diadakan pada kapasitor murni, tegangannya akan tertinggal 90° dari arus yang mengalir kapasitor, arus harus mengalir dahulu sebelum terjadi beda potensial (sebelum muatan terhimpun) pada kapasitor.
7. Impedansi rangkaian R,L dan C yang berhubungan secara SERI adalah:
8. Daya yang hilang dalam Impedansi adalah:

Rugi Daya = $V I \cos \Phi$; Besaran $\cos \Phi$ = *Faktor Daya*.

9. Resonansi terjadi dalam rangkaian RLC jika $X_L = X_C$
10. Transformator adalah Alat untuk menaikkan atau menurunkan tegangan di dalam rangkaian AC. nilai daya:

Daya dalam kumparan Primer = Daya dalam kumparan Sekunder

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

C. PENUTUP

❖ TINDAK LANJUT

Setelah mengikuti materi pada bab ini, diharapkan mahasiswa mampu mencapai tujuan pembelajaran.

D. DAFTAR PUSTAKA

- Serway, R.A, and Jewett, J.W. 2010. Fisika untuk Sains dan Teknik. Edisi 6. Salemba Teknik, Jakarta.
- Guntoro, N.A. 2013. Fisika Terapan. PT Remaja Rosdakarya. Cetakan pertama. Bandung.
- Jati, B.M.E, dan Priyambodo, T.K. 2010. Fisika Dasar Listrik-Magnet-Optika-Fisika Modern. ANDI. Yogyakarta.
- Bueche, F.J, and Hecht E. 1997. Schaum's outline of Theory and Problems of College Physics. Ninth edition. McGraw-Hill. United States of America.
- Giancoli, D.C. 2002. Fisika Prinsip dan Aplikasi Jilid 2. Edisi 7. Erlangga. Jakarta.
- Stanford, A. L. and Tanner, J. M., 1985, Physics for Students of Science and Engineering, Academic Press, Inc., Orlando.
- Young, H.D., and Freedman, R.A., 2000, Sears and Zemansky's University Physics, Addison-Wesley, San Francisco.
- Raymond A. Serway & John W. Jewett, Physics for Scientists and Engineers.
- David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, Fundamentals of Physics Extended.

fisika listrik

ORIGINALITY REPORT

3%

SIMILARITY INDEX

3%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

etheses.uin-malang.ac.id
Internet Source

3%

Exclude quotes On
Exclude bibliography On

Exclude matches < 3%